

降雨による見かけの粘着力低下に着目した広域的斜面崩壊危険度評価

九州大学大学院 学生会員 ○平岡大輝
九州大学大学院 正会員 陳 光斉

九州大学大学院 フェロー 善 功企
九州大学大学院 正会員 笠間清伸

1. はじめに

地球温暖化に起因した集中豪雨が増加し、それに伴う斜面崩壊の被害拡大が大きな社会問題になっている。著者の研究グループでは、地理情報システム(GIS)を用いて、広域的斜面崩壊危険度評価手法を構築し、豪雨時の斜面崩壊危険箇所や対策必要箇所の特定を行ってきた。本文では、豪雨時の斜面危険度評価において、斜面表層への降雨の浸水割合に着目し、気象庁が観測する時間雨量を用いて、斜面の崩壊確率をリアルタイムで評価する手法を構築し、それを用いたハザードマップの作成と評価を行った結果を示す。

2. 内容

2.1 崩壊確率の算出

本研究では、図-1のような降雨時の無限長斜面を考慮し、安全率算定式に、見かけの粘着力 c_ψ を考慮した式(1)~(5)に示す Montrasio ら¹⁾の式を用いた。

$$F_S = \frac{N' \cdot \tan \phi' + (c' + c_\psi) \cdot \Delta s}{W' \cdot \sin \theta + j} \quad (1) \quad c_\psi = A \cdot S_{r0} \cdot (1 - S_{r0})^\lambda \cdot (1 - m)^\alpha \quad (2)$$

$$W' = \cos \theta \cdot H \cdot \Delta s \cdot \gamma_w [m(n-1) + G_s(1-n) + n \cdot S_{r0}(1-m)] \quad (3)$$

$$N' = W' \cos \theta \quad (4) \quad j = \gamma_w \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot m \cdot H \cdot \Delta s \quad (5)$$

ここで、 N' ：有効垂直力、 W' ：土の有効重量、 T ：土のせん断抵抗力、 j ：透水力、 c' ：土の有効粘着力、 ϕ' ：内部摩擦角、 θ ：勾配、 H ：表層厚、 Δs ：一要素の長さ、 γ_w ：水中単位体積重量、 m ：浸水割合、 n ：間隙率、 S_{r0} ：初期飽和度、 A ：土の種類に依存するパラメータ、 λ および α ：パラメータである。表-1に各地質の地盤定数を示す。地盤定数のばらつきを考慮するため、5000回のモンテカルロシミュレーションを行い、崩壊確率を算出した。

2.2 リアルタイム予測手法

タンクモデルを導入することで、各メッシュの浸水割合 m をリアルタイムで算出した。図-2に、各メッシュにおける水の出入りの模式図を示す。メッシュの貯留高 S は式(6)~式(11)から求めた。

$$E_a = \frac{1.6S}{S_{\max}} \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (6) \quad I = \sum_{k=1}^{12} \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (7)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49 \quad (8)$$

$$d = k_d S \quad (9) \quad S = S_{t-\Delta t} + (R - E_a - d) \Delta t \quad (10)$$

$$S = \begin{cases} S_{\max} & (S > S_{\max}) \\ S & (S < S_{\max}) \end{cases} \quad (11)$$

ここで、 $S_{\max}$ ：メッシュの飽和貯留高、 T ：対象地域の月平均気温(本研究では $T=15.9$)、 I ：熱指数、 k_d ：流出係数($k_d=0.01$)、 Δt ：入力雨量の時間間隔で、1時間とした。以上をふまえ、浸水割合 m は、集水効果を考慮した補正項 h_q を加えて次の式(12)で算出した。

$$m = \frac{S(1+h_q)}{S_{\max}} \quad (12)$$

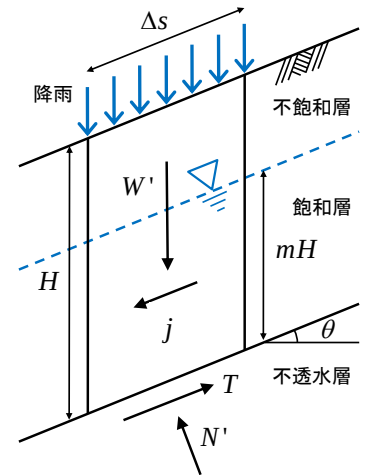


図-1 斜面の一要素に働く力のモデル¹⁾

表-1 各地質の地盤定数^{1), 2)}

地質	$c'(\text{kN/m}^2)$		$\phi'(^{\circ})$	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数
花崗岩	23.0	0.57	35.6	0.11
堆積岩	18.0	0.77	33.5	0.14
火成岩	20.0	0.76	34.9	0.16
沖積岩	17.4	0.87	36.0	0.13

地質	n	S_{r0}	G_s	A	λ	α
花崗岩	0.3492	0.385	2.6	40	0.4	3.4
堆積岩	0.3198	0.4367		100		
火成岩	0.4800	0.2233		80		
沖積岩	0.3577	0.3521		80		

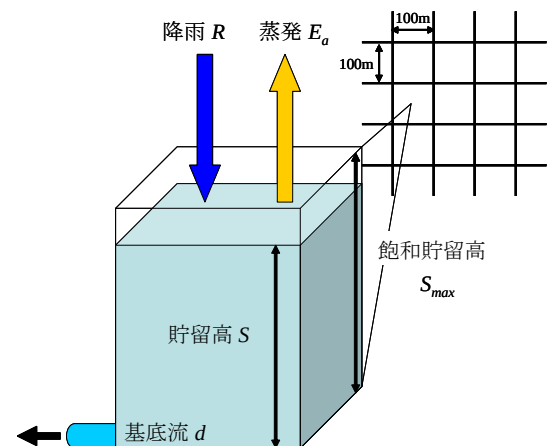


図-2 各メッシュにおける水の出入り

2.3 表層厚の推定

昭和 47 年から平成 11 年の間に日本全国で発生した降雨による表層崩壊のデータ³⁾を用い、勾配と表層厚の平均値の関係を求めた(図-3)。得られた H と θ の関係式(式(13))を用いて、各メッシュの勾配からそのメッシュの表層厚を推定した。

$$H = 1.7618 - 0.010987\theta + 0.000032426\theta^2 \quad (13)$$

2.4 崩壊確率算出結果

解析によって得られた崩壊確率算出結果(花崗岩地質斜面)を図-4に示す。他の地質も同様の傾向が見られた。

2.5 斜面崩壊危険域の定義

求めた崩壊確率および崩壊履歴を用いて、マップの実用化に向けて斜面崩壊危険域を定義した。モデル地域は福岡県北九州市とし、1989年から2005年の17年間に発生した崩壊履歴⁴⁾237件を用いた。危険域を定義する上で、崩壊は浸水割合が1のとき起こると仮定し、崩壊履歴箇所の浸水割合が1のときの崩壊確率を算出した。その結果、崩壊確率0.7%以上で、崩壊履歴の95%が、崩壊確率1.4%以上で、履歴の90%が発生したことがわかった。このことから本研究では、崩壊確率分析結果が0.7%以下のメッシュを安全域、0.7%以上のメッシュを斜面崩壊危険域と定義し、さらに崩壊確率0.7~1.4%のメッシュを警戒区域、1.4%以上のメッシュを危険区域と定義した。

2.6 リアルタイムハザードマップ

本節では、2003年7月18日から20日にかけて九州地方で発生した集中豪雨を取り扱い、斜面崩壊危険域のリアルタイム予測を試みた。図-5に100mメッシュのリアルタイムハザードマップを示す。最後に、本降雨により崩壊が発生した八幡東区神山村においてマップの評価を行った。図-6に神山村の崩壊確率と時間雨量の移行を示す。19日0時までは安全域に属していたが、1時には斜面崩壊危険域の警戒区域に、崩壊が発生した2時には危険区域に該当した。

3. 結論

①GISを用いて、簡易力学安定性モデル、タンクモデル、集水効果等を考慮し、実際の斜面崩壊に対応したリアルタイムハザードマップを作成した。②時間の経過とともに斜面崩壊危険域は拡大した。③八幡東区神山村において、崩壊が発生した19日2時に崩壊確率は危険域に該当した。

<参考文献>

- 1) L. Montrasio and R. Valentino: A model for triggering mechanisms of shallow landslides, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol.8, pp.1149-1159, 2008.
- 2) 三角真貴子: 地理情報システムを用いた降雨に伴う斜面崩壊危険域のリアルタイム予測, 九州大学修士論文, 2009.
- 3) 小山内信智, 富田陽子, 秋山一弥, 松下智祥: がけ崩れ災害の実態, 国土技術政策総合研究所資料, 第530号, pp.72, 2009.
- 4) 福岡県県土整備砂防課: 福岡県災害整理, 2005.

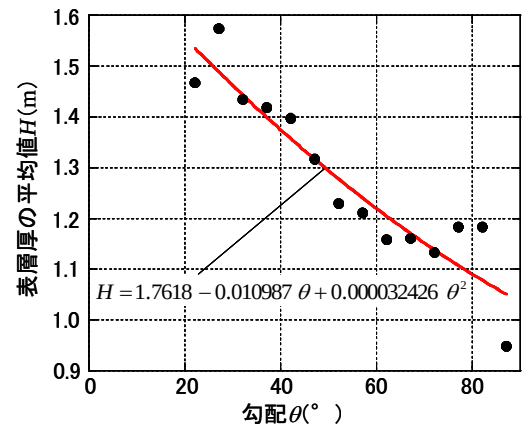


図-3 勾配と表層厚の平均値の関係

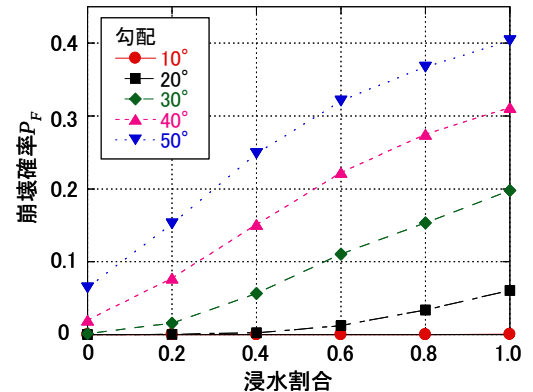


図-4 崩壊確率算出結果(花崗岩地質斜面)

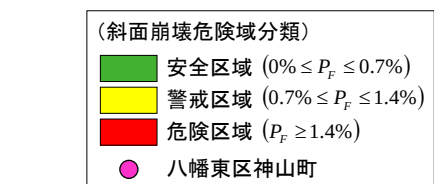
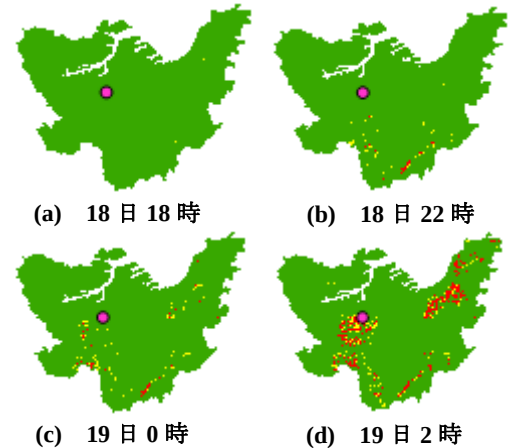


図-5 北九州市リアルタイムハザードマップ

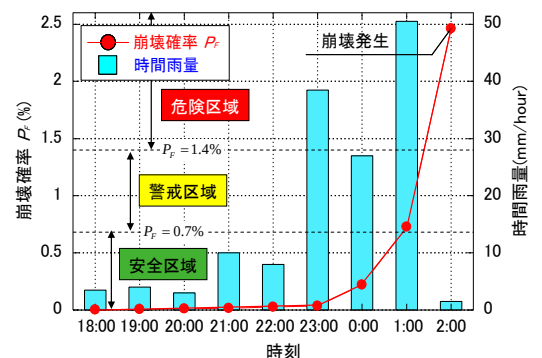


図-6 神山村の崩壊確率と時間雨量の移行